

수평흐름식 여과기술의 CSOs 적용을 위한 공정 최적화 연구

김재학*, 양정하, 이영신
한서대학교 환경공학과

A Study on Process Optimization for CSOs Application of Horizontal Flow Filtration Technology

Jae-Hak Kim*, Jeong-Ha Yang, Young-Shin Lee
Dept. of Environmental Engineering, Hanseo University

요약 강우사상이 발생함에 따라 시설용량을 초과하여 미처리된 상태로 방류수계에 직접 배출되는 합류식 관거 월류수(Combined Sewer Overflows, CSOs) 및 분류식 관거 월류수(Separated Sewer Overflows, SSOs)의 관리는 집중호우가 찾아지는 근래에 들어 그 관리가 더욱 중요해지고 있다. 밀집도가 높은 도심지에 적용성이 유리한 여과기술은 지속적인 개발이 이루어지고 있음에도 불구하고 CSOs에 적용된 사례가 거의 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 로프형 섬유여재가 적용된 Pilot 규모의 수평흐름식 여과장치를 CSOs에 적용하기 위해 공정최적화를 목적으로 수행되었다. 연구방법은 인공시료를 적용한 사전연구와 하수를 적용한 현장연구로 구분하여 수행하였다. 인공시료를 적용한 사전연구에서 여재 자체의 손실수두는 약 1.1cm 정도로 분석되었고, 선속도 10m/hr 증가에 따라 약 0.1cm 정도의 손실수두 증가를 유발하는 것으로 나타났다. 또한, SS 제거효율은 81.4% 정도로 안정적이었고, 여과지속시간은 6시간 이상 유지되었으며, 공기역세척만으로도 98% 정도의 손실수두 평균 회복율을 보였다. 하수를 적용한 현장평가에서는 여재의 조기폐색을 방지하기 위한 전처리공정으로 벨트형 미세스크린(450mesh 이상)을 적용했을 때 2시간 내외의 여과지속시간을 확보할 수 있었고, 평균 83.9%의 SS 제거효율을 나타내었다. CSOs 및 SSOs에 여과공정 적용을 위해서는 효율적 측면보다 여과지속시간의 안정적 유지를 위한 수리적 측면을 보완하기 위해서 전처리공정과 조합이 중요하다는 결론을 얻을 수 있었다. 건기와 비교하여 우기의 유입하수 수질은 다소 낮은 보였으며, 이는 분류식 관거 비율이 높은 배수구역의 특성 때문인 것으로 추정된다. 또한, 우기와 건기의 유입수질에 따른 제거효율 차이는 미미하였다.

Abstract The management of Combined Sewer Overflows(CSOs) and Separated Sewer Overflows(SSOs) discharge directly to the effluent system in an untreated state, which occurs when the facility capacity is exceeded due to heavy rain, has become an important issue in recent years as the heavy rain becomes a regular phenomenon. Despite the continuous development of filtration technology, targeting densely populated urban areas, CSOs are rarely applied. Therefore, this study was carried out to optimize the process to apply CSOs in a pilot-scale horizontal flow filtration system with a rope-type synthetic fiber. The research was carried out in two steps: a preliminary study using artificial samples and a field study using sewage. In the preliminary study using an artificial sample, head loss of the filter media itself was analyzed to be approximately 1.1cm, and the head loss was increased by approximately 0.1cm as the linear velocity was increased by 10m/hr. In addition, the SS removal efficiency was stable at 81.4%, the filtration duration was maintained for more than 6 hours, and the average recovery rate of 98% was obtained by air backwashing only. In the on-site evaluation using sewage, the filtration duration was approximately 2 hours and the average removal efficiency of 83.9% was obtained when belt screen (over 450 mesh) was applied as a pre-treatment process to prevent the premature clogging of filter media. To apply the filtration process to CSOs and SSOs, it was concluded that the combination with the pre-treatment process was important to reinforce the hydraulic dimension for the stable maintain of operation period, rather than efficiency. Compared to the dry season, the quality of incoming sewage was lower in the rainy season, which was attributed to the characteristics of the drainage area with higher sanitary sewerage. In addition, the difference in removal efficiency according to the influent quality of the wet season and dry season was small.

Keywords : CSOs, Combined Sewer Overflows, Head loss, Horizontal flow Filtration, Rope-type fiber filter, SSOs, Sanitary Sewer Overflows, Belt Screen

본 논문은 중소기업청 “산학협력 기술개발사업”의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

*Corresponding Author : Jae-Hak Kim(Hanseu Univ.)

Tel: +82-2-473-4527 email: isnature@empas.com

Received October 20, 2017

Revised December 13, 2017

Accepted February 2, 2018

Published February 28, 2018

1. 서론

일반적으로 하수관거는 오염된 물의 분리배출을 통한 수체보호의 목적과 강우 시 우수의 신속한 배수를 위한 치수의 목적으로 건설된다. 즉, 강우사상이 발생되면 우수가 하수와 함께 또는 분리되어 하수처리장으로 유입되거나 방류수계로 직접 유출된다. 이 과정에서 처리장이나 관로의 용량을 초과한 하·우수는 미처리된 상태로 월류하여 수계로 직접 유출되는데 이를 월류수(Overflows)라 칭한다. 월류수는 관거의 방식에 따라 합류식 관거 월류수(Combined Sewer Overflows, CSOs)와 분류식 관거 월류수(Sanitary Sewer Overflows, SSOs)로 분류된다.

CSOs 및 SSOs는 배수구역의 토지이용 형태, 강우강도 및 지속시간 등 지역적 특성에 따라 유출특성이 크게 달라지는 것으로 알려져 있다[1]. 뿐만 아니라, 관로내부에 누적되어 있던 침전물이 유량증가에 의해 재부상하여 유출되면서 월류 초기에 건기 시 오수성상에 비하여 높은 오염물질 농도를 나타낸다. 김 등(2012)은 도시지역 합류식 하수관거 월류수(CSOs)의 오염부하량 분석 연구를 통해 강우시 평균 유량가중평균농도(Event Mean Concentration, EMC)는 비강우시보다 비교적 높게 나타났으며 그 원인을 초기강우라 지적하였고, 배수구역의 특성 및 월류량에 차이는 있으나 조사지점의 경우 유출부하량의 약 40% 정도가 수계로 유입된다고 하였다. 특히, SS의 평균 월류부하량이 평시보다 2.4배 정도 높았으며, 강우의 차집 과정에서 지면의 오염물질 세척과 관거 내 퇴적물의 재부유에서 기인된다고 판단하였다[2].

송(2014)은 도시지역 합류식하수관로 월류수(CSOs) 발생특성 연구를 통해 49mm, 81mm의 강우발생에서 약 10분 후 CSOs가 발생하고, 오염부하량에서는 항목별로 건기대비 최소 3배에서 최대 38배 이상, 농도에서는 COD, SS, T-P 항목에서 각각 2.3배, 5.6배, 1.7배 높은 것을 확인하였으며, 선행건기일수나 대상지역 및 강우특성에 따라 차이가 발생된다고 하였다[4]. 유사한 연구사례로, 방 등(2004)은 대전시 유등천의 합류식하수관 월류수의 유출특성을 분석한 결과 강우 발생시 평균입경 208~240 μ m 범위의 SS가 유실경향이 크다고 하였고[5], 송 등(2011)은 합류식 및 분류식 하수관거에서의 유량 및 수질변동 특성 연구를 통해 합류식 하수관거 구역에서 5시간 동안 29.5mm의 집중강우가 발생한 기간 동안 건기시 평균유

량의 2배정도 하수량 증가가 발생된다고 하였다[6].

기존의 많은 연구에서와 같이 CSOs는 많은 환경조건에 의해 발생특성이 크게 달라질 수 있지만 수계에 가해지는 오염부하량 또한 크기 때문에 사전에 제어되어야 한다는 점은 공통적으로 지적되고 있다.

한편, 우리나라에서는 1976년에 중랑천 하수처리장 건설을 시작으로 비약적인 발전을 이루어 2015년 현재 하수도보급률이 92.9%에 달했으나 CSOs의 관리측면에는 매우 소홀하였던 점을 부정할 수 없다[7]. 2000년대 들어서면서 우리나라에서도 CSOs 관리가 중요하다는 목소리가 높아지게 되었고 관련 연구 및 정책입안이 본격화되기 시작하였다. 특히, 2007년에 개정된 하수도법 시행규칙에 월류수 수질기준을 도입한 것은 CSOs 관리의무에 대한 최소한의 법적 조치임과 동시에 관리시설 설치에 대한 행정적 근거 도입이라 할 수 있다. 이를 토대로 최근에는 지방자치단체가 주체가 되어 CSOs 관리시설을 설치한 사례가 다수 발표되고 있다.

CSOs 제어를 위한 기술로는 크게 저류형과 장치형으로 구분할 수 있다. 국내의 사례에서 보면 주로 저류형 시설이 대부분이다. 반면, 장치형시설의 경우협소한 장소에도 쉽게 적용할 수 있다는 장점으로 인해 밀집도가 높은 도심지에서 충분히 유용한 방법으로 알려져 있다. 특히, 여과방식의 경우 여체의 다변화와 여과속도 증가에도 안정적인 효율을 유지할 수 있는 기술개발이 현재까지도 꾸준히 이루어지고 있어 지속적인 발전이 보고되고 있다[8].

여과기술에 있어 대부분의 기술은 상향류 또는 하향류 방식을 채택하고 있는데, 이 경우 상대적으로 수두손실이 크고, 여재충진을 위한 구조적인 시설이 필요하며, 이에 따른 유지관리가 어려워질 우려가 있다. 뿐만 아니라 역세척 과정에서 발생하는 여재배치의 불균형, 다량의 탁수배출 및 회복을 저하 등의 문제점을 안고 있다. 뿐만 아니라 지금까지 개발된 대부분의 기술은 비점오염원으로 분류되는 강우유출수에만 국한되어 적용되어 왔으며, 현재까지 CSOs에 적용된 사례는 지극히 드물다.

따라서 본 연구에서는 수평흐름식 여과기술을 CSOs에 적용하기 위한 공정최적화에 집중하였으며, 탁수의 여과특성을 수리측면과 효율측면에서 고찰하고자 하였다.

2. 장치 및 방법

2.1 실험장치의 구성

본 연구에서 사용된 여과장치는 유입수조, 유량계량조, 여과반응조로 구성되어 있다. 부대설비로 역세척을 위한 송풍기가 설치되어 있다. 유입수조는 2m³ 용량의 PE재질로 제작된 탱크를 2조 설치하여 병행사용하였고, 유량계량조는 V-notch type으로 제작하여 설치하였다. 여과반응조는 W2.4m × L1.0m × H1.2m 규격으로 제작하였고, 내부에 칸막이 형태로 여재카트리지를 7단까지 장착할 수 있도록 구성하였다. 실험장치의 구성은 아래의 Fig. 1에 나타내었다.

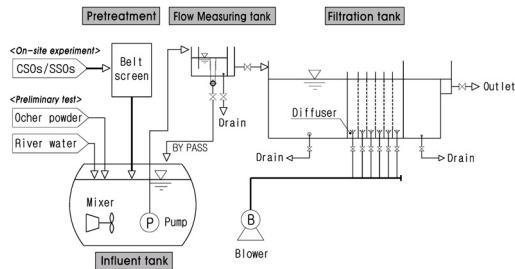


Fig. 1. Configuration of experimental apparatus.

한편, Fig. 1에 제시된 공정구성에서 전처리공정으로 도입된 belt screen은 메쉬로 제작된 무한궤도형의 벨트가 1/3정도 수조에 잠겨있는 방식으로 제작되어 있다. 벨트가 회전하면서 고형물을 제거하고, 후면부에서 스크레이퍼에 의해 제거되는 원리로 작동된다. 유효 벨트폭은 250mm이고 스크린의 회전속도는 27rpm으로 설정하여 운전하였다. 다음의 Table 1에 belt screen의 규격을 요약하였다.

Table 1. Specification of belt-type screen

Item	Specifications
total size	W610mm×L1,200mm×H840mm, Q=480m ³ /d
water depth	350mm
belt mesh width	250mm
screen rpm	27 rev./min

2.2 여재의 특성

본 연구에서 사용된 여재는 고리모양으로 제조된 로프형 섬유여재로, PE, PP, 나일론 재질의 3종류의 원사

를 이용하여 제작되었다. 여재의 물리화학적 특성을 다음의 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Physicochemical properties of the filter media used in this study.

Item	Specific surface area	Permeability coefficient	Porosity
Properties	3.78m ² /m	1.2cm/s	96.8%

여재는 금속재질의 사각 판재 가운데에 수로용 홀을 W1.16m × H0.9m 규격으로 내고 유입부에 로프형 여재를 고정하여 제작되었다. 5단~7단으로 여재판을 조합하여 필터카트리지로 구성하였다.



Fig. 2. Photos of filter media.

(a) Top view of filter cartridge, (b) detail view of fiber filter media.

2.3 유입수의 특성

본 연구에서는 인공시료를 이용한 사전실험과 S하수 처리장에서 유입하수를 적용한 현장실험으로 구분되어 수행되었다. 사전실험에서 사용된 인공시료는 325mesh 이하의 입자로 조제된 상업용 황토를 이용하였고, 평균 TSS 농도 250mg/L를 목표로 제조하였다. 현장실험에서는 유입하수를 그대로 적용하였다. 인공시료와 하수 모두 0~10μm 범위의 입자가 가장 많은 비율을 차지하는 것으로 분석되었고, 하수 내 입자가 황토입자보다 더 미세한 것으로 확인되었다. 각 시료의 입자분포는 아래의 Table 3과 Fig. 3, Fig. 4에 각각 나타내었다.

Table 3. The cumulative number fractions of particles in artificial turbid water and sewage used in this study.

Particle size(μm)		0~10	10~50	50~500
Cumulative number fraction(%)	Artificial turbid water	88.6	11.1	0.3
	Sewage	92.9	6.7	0.4

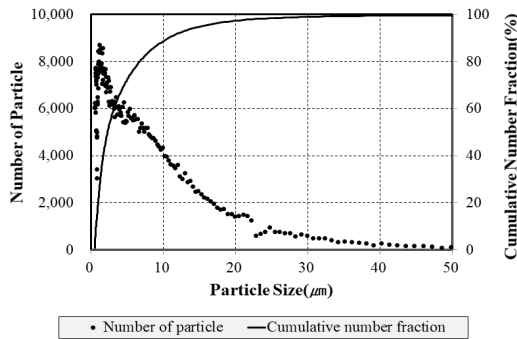


Fig. 3. Particle size distribution of clay in artificial turbid water used as a raw water in this study.

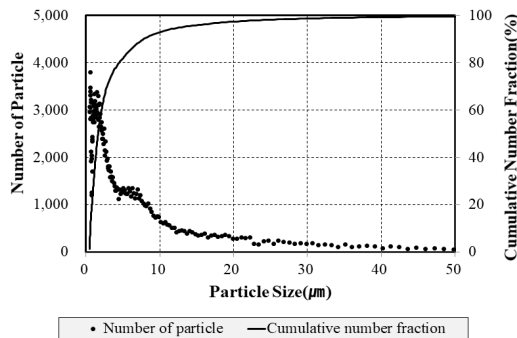


Fig. 4. Particle size distribution of sewage into S sewage treatment plant

2.4 실험방법

인공시료를 이용한 사전실험에서는 시료제조를 위해 인접한 하천수를 취수하여 공급하였고, 실험장치를 거쳐 처리된 유출수는 다시 하천으로 배출하도록 하였다. 유입수조에 교반기와 수중펌프를 설치하여 균일한 시료가 연속 공급되도록 하였고, 유량계량조에서 by-pass의 밸브 개도조절하는 방식으로 유량을 조절하였다. 유량은 무부하 조건에서 $0.28\sim 0.73\text{m}^3/\text{min}$ (여과선속도 기준 $15.9\sim 41.9\text{m/hr}$) 범위, 부하조건에서 $0.25\sim 0.44\text{m}^3/\text{min}$ (여과선속도 기준 $21.5\sim 25.3\text{m/hr}$) 범위내에서 조절하였다. 유량계량조를 통과한 원수는 경사판 침전조를 거친 후 여과조를 수평으로 흐르도록 하였다. 이때 여과조 내측 벽에 눈금자를 부착하여 손실수두를 측정할 수 있도록 하였다.

하수를 적용한 현장실험에서는 처리장 내 분배조에서 유입수를 취수하였고, 전처리과정을 거친 후 유량계량조

로 유입시키도록 하였다. 이후의 과정은 사전실험과 동일하게 수행하였다. 현장실험에서 적용된 전처리과정은 여재의 조기폐색을 방지하기 위한 수단으로 다음의 세가지 조건으로 변경하여 실험을 수행하였으며 각 조건별 여과반응조의 운전특성 및 성능변화를 고찰하였다. 조건 1은 섬유여과 기술의 기본 구성으로 전처리 과정에서 경사판 침전조가 조합된 구성이다. 조건 2와 3에서는 각각 250mesh(약 $58\mu\text{m}$), 450mesh($32\mu\text{m}$) 규격의 스크린이 적용된 belt screen이 조합되었다.

- 조건 1 : 경사판침전 + 섬유여과
- 조건 2 : belt screen(250mesh) + 섬유여과
- 조건 3 : belt screen(450mesh) + 섬유여과

사전실험과 현장실험에서 공통적으로 여재의 수리적 특성평가는 손실수두의 변화 및 여과지속시간의 변화 등을 중점적으로 분석하였고, 수질면에서는 SS 제거특성을 중심으로 평가하였다.

2.5 분석방법

본 연구에서 여과기술의 수리적 특성은 손실수두를 측정하여 평가하였다. 손실수두는 여과반응조 내부에 장착된 눈금자를 가동시간에 따라 육안으로 확인하여 그 차이를 산출하였다. 여과기술의 고형물 제거효율 평가를 위해 SS를 분석하였으며, SS는 중량법으로 분석하였다. 유입수에 함유된 고형물의 입자분포는 AccuSizer 780A 모델의 입도분석기를 이용하여 분석하였다. 이 외의 수질항목에 대해서는 공해공정시험법에 준하여 분석을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 인공시료 적용에 의한 여과 특성

3.1.1 여재 자체의 손실수두

청수 유입조건(무부하조건)에서 여재의 손실수두는 여과선속도 변화에 따라 선형적 증가추이를 보였다. 선속도 15.9m/hr 에서는 1.0cm 의 손실수두가 발생되었고, 선속도 30.5m/hr 에서는 1.2cm 가, 선속도 41.9m/hr 에서는 1.3cm 의 손실수두가 발생되었다. 아래의 Fig. 5에 각 선속도별 손실수두 변화결과를 나타내었다.

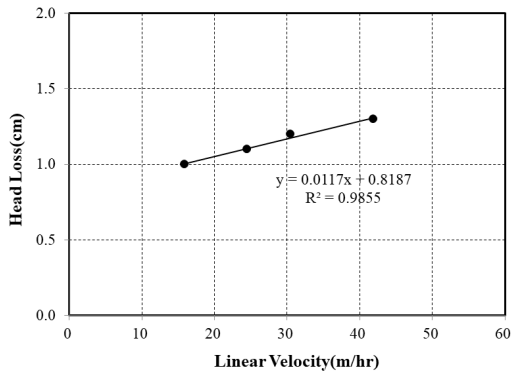


Fig. 5. Variation of head loss according to linear velocity under the no solids loading.

3.1.2 고형물 제거효율

다음의 Fig. 6은 인공시료 적용시 가동시간에 따른 고형물 제거효율을 보여주고 있다. 유입수 및 유출수의 평균 SS는 각각 272.5mg/L(231.0~357.8mg/L), 50.6mg/L(40.2~67.2)인 것으로 나타났다. 각 운전주기별 제거효율은 81.4%인 것으로 분석되었고, 80% 이상의 효율을 6시간 이상 유지하는 안정성을 보여주었다. 가동 6시간이 지난 이후에는 고형물 제거효율이 80% 이하로 미세하게 감소되는 경향을 보여 6시간 전에 역세척이 필요한 것으로 판단된다.

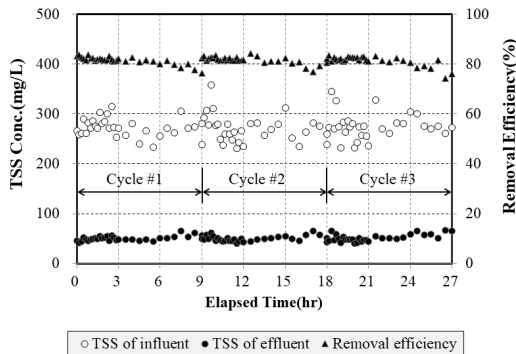


Fig. 6. Efficiency of TSS removal by operation time.

3.1.3 역세척에 따른 손실수두 회복률

역세척에 따른 손실수두 회복률 분석결과는 다음의 Fig. 7에 나타내었다. 그림에서 초기 2시간 가동에 따른 손실수두는 1.6cm였고, 첫 번째 역세척에 따른 손실수두 회복은 1.6cm로 100.0%의 회복율을 보이고 있다. 이 시

점까지 가해진 누적 고형물 부하량은 103.0kg/m²으로 분석되었다. 역세척 회복율은 Cycle #2와 Cycle #3에서 각각 94.1%, 100%로 나타났으며, 각 주기별 누적 고형물량은 각각 123.3kg/m², 121.4kg/m²이었다. 이 같은 결과를 종합한 평균 회복율은 98.0%로 분석되었다.

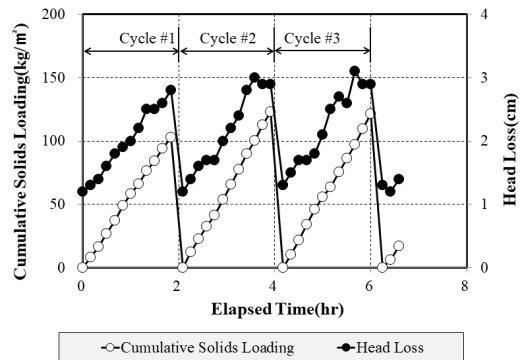


Fig. 7. Cumulative solids loading and loss head recovery due to backwash.

3.2 CSOs 및 SSOs 적용에 따른 공정최적화

3.2.1 CSOs 적용에 따른 운전특성

여과기술을 CSOs에 적용했을 때 각 조건별 운전특성은 아래의 Fig. 8에 나타내었다. 그림에서 초기 1일부터 5일까지는 조건 1에 준하여 운전한 결과로 평균 73%의 SS 제거효율을 보였으나 가동 39분만에 여재의 조기폐색이 발생하였다. 따라서, 여과지속시간의 증가를 위해 가동 7일부터 10일까지는 조건 2에 준하여 운전하였다. 그 결과, SS 제거효율은 77.8%로, 여과지속시간은 75분으로 증가하였다. 초기강우에 의한 고농도의 CSOs의 발생은 지역적 차이가 크지만 강우발생 후 약 2시간 정도인 것으로 알려져 있다. 따라서, CSOs의 안정적인 처리를 위해서는 최소한 여과지속시간이 2시간 내외로 유지되어야 초기강우에 의한 고농도 오염물을 처리할 수 있다. 따라서 본 연구에서도 여과지속시간을 보다 더 증가시키기 위해 조건 3으로 전처리공정을 강화하여 가동하였다. 가동 12일부터 15일까지는 조건 3에 준한 결과이며, SS 제거효율은 84.4%로, 여과지속시간은 90분으로 증가하였음을 확인할 수 있었다. 뿐만 아니라, 가동 후 16일경에 폐색된 7단 및 6단 여재를 제거한 후 재가동한 결과 여과지속시간이 120분까지 증가되는 결과를 얻을 수 있었다.

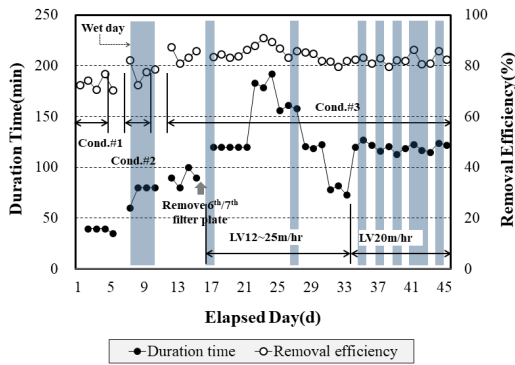


Fig. 8. Operating characteristics according to process configuration conditions.

3.2.2 공정구성 조건에 따른 손실수두 변화

현장실험에서 하수유입 시 전처리 조건별로 손실수두 증가속도를 분석하여 다음의 Fig. 9에 나타내었다. 조건 1과 비교하여 조건 2와 조건 3의 손실수두 증가속도는 각각 0.25cm/min, 0.29cm/min 이상 차이가 발생하는 것을 알 수 있다. 이는 전처리공정에서의 고형물(협잡물) 제거 특성이 여재의 손실수두 증가에 미치는 영향정도를 분명하게 보여주는 결과로 사료된다.

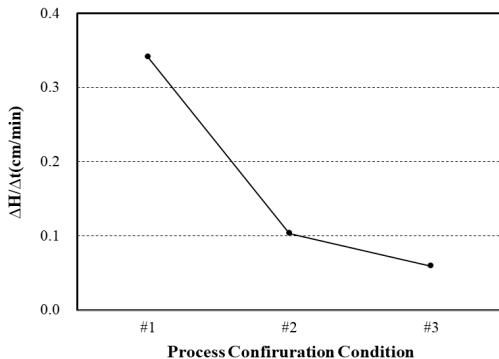


Fig. 9. Comparison of the increasing rate of loss head according to process configuration condition.

3.2.3 공정구성 조건별 제거효율 분석

각 조건별로 하수 유입 시 SS 제거특성을 분석하여 다음의 Fig. 10에 나타내었다. SS의 제거효율은 조건 1, 조건 2, 조건 3의 경우에 대해 각각 73.0%, 77.8%, 83.9%의 최종제거효율을 보였고, 여과방류수의 수질은 조건 3에 대하여 평균 45mg/L인 것으로 분석되었다. 이

처럼 각 조건에 따른 제거효율의 차이는 그리 크지 않은 것으로 나타났는데, 이는 강제여과 원리에서 기인된 것으로 추정된다.

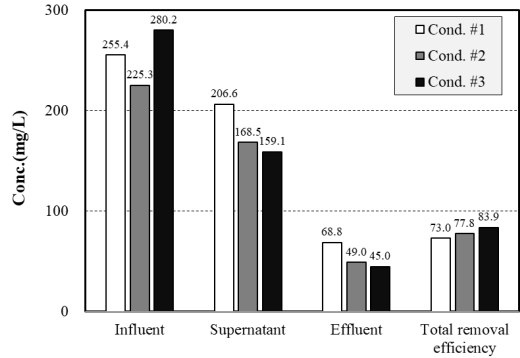


Fig. 10. Comparison of SS removal characteristics according to process configuration condition.

3.2.4 선속도 최적화 및 역세척회복을 분석

조건 3의 공정조합에 의해 선속도 변화에 따른 손실수두 및 역세척회복을 분석실험을 수행하여 다음의 Fig. 11에 나타내었다. 선속도 11.8m/hr로 운전한 경우 손실수두가 10cm까지 증가하는데 소요된 시간은 평균적으로 약 185분이었고, 선속도를 14.7m/hr로 증가시켜 운전한 경우 손실수두가 10cm까지 증가하는데 소요된 시간은 평균적으로 약 158분인 것으로 나타났다. 또한, 선속도를 20.0m/hr, 25.9m/hr로 증가시키면 손실수두가 10cm까지 증가하는데 각각 평균 121분, 78분이 소요된 것으로 분석되었다.

이와 같은 결과는 CSOs에 여과기술을 적용할 경우 여과선속도에 의한 수리부하도 매우 중요한 인자임을 보여주고 있다. 즉, 여과선속도를 너무 적게 설계할 경우 시설규모가 커질 수 있고, 너무 크게 설계할 경우 여과지속시간이 너무 짧아 오염부하가 큰 초기우수의 안정적 처리가 어려울 수 있어 적정 선속도를 선정하는데 위의 실험결과를 중요한 정보를 제공할 수 있을 것으로 사료된다(Fig. 11, Fig. 12).

선속도별 역세척회복 및 여과지속시간의 변화에 대한 분석결과를 다음의 Fig. 12에 나타내었다. 선속도 변화에 따른 여과지속시간의 경우 선형적인 감소경향을 보여주고 있다. 이는 CSOs 및 SSOs를 여과처리함에 있어 고형물에 의한 저항력보다는 수리부하에 의한 저항력이

훨씬 큰 것으로 판단된다. 선속도별 역세척회복율 분석 결과에서는 선속도를 20m/hr 이하로 운전한 경우에는 선속도 변화에 따라 역세척회복율이 99.4% 수준을 유지하면서 큰 변화가 관찰되지 않았다. 반면, 선속도를 25.9m/hr로 운전한 경우 역세척회복율은 97.8%로 미세하게 낮아지는 결과를 보여주었다. 이는 유량증가에 따른 미세한 차이의 함께 고품물 부하량의 증가에 따른 여재의 피로도 증가가 복합된 것에서 기인한 것으로 추측된다. 하지만 회복율의 감소율이 너무 미세하여 그 원인을 단정짓기에는 다소 무리가 따르는 것으로 판단된다.

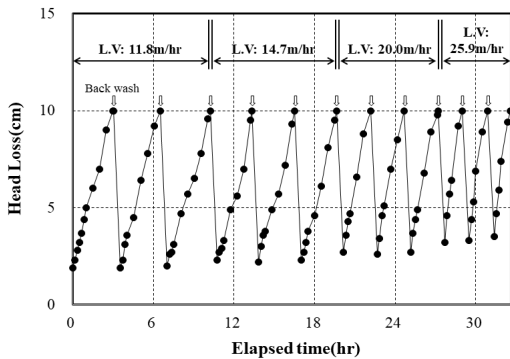


Fig. 11. Variation of the head loss according to linear velocity under the process configuration condition #3.

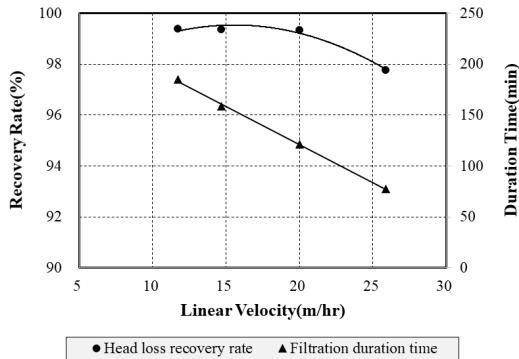


Fig. 12. Comparison of head loss recovery rate by back-washing and filtration duration according to linear velocity

3.2.5 CSOs와 SSOs 비교

현장평가 기간 중 조건 3에 의한 결과값만을 선별하여 강우시(CSOs)와 청천시(SSOs)로 비교분석한 결과는

다음의 Table 4에 정리하였다. 강우시와 청천시의 유입 수질은 다소의 희석효과 외에 큰 차이가 발견되지 않았다. 대표적으로 SS의 경우 청천시 평균 289.3mg/L로 유입된데 반해 강우시 평균 246.3mg/L 정도로 나타나 매우 유사함을 알 수 있었다. 이는 기존 연구[6]와 동일한 결과로서, 분류식 관거비율이 높은 지역의 경우 분류식 관로에 우수가 유입되어 희석효과를 나타내기 때문인 것으로 추정된다.

본 개발기술을 적용하여 처리했을 때 SS의 제거효율은 청천시와 강우시가 각각 84.0%, 83.9% 수준으로 거의 같은 수준을 유지하였다. 이 외의 수질항목에 대해서도 유입수질 및 제거효율에 있어 매우 유사한 수준을 유지하는 것으로 분석되었다.

Table 4. Comparison of contaminant removal characteristics in dry and wet season.

Item		BOD	SS	T-N	T-P
Dry day	Inflow(mg/L)	217.5	289.3	63.9	9.7
	Outflow(mg/L)	37.8	46.4	35.4	7.3
	Removal efficiency(%)	82.6	84.0	44.6	25.0
Rainy day	Inflow(mg/L)	174.4	246.3	58.4	8.7
	Outflow(mg/L)	32.3	39.7	34.2	6.6
	Removal efficiency(%)	81.5	83.9	41.5	24.7

4. 결론

로프형 섬유여체가 적용된 Pilot 규모의 여과장치를 이용하여 CSOs의 안정적 처리를 위해 공정최적화 연구를 수행하였다. 연구는 인공시료를 적용한 사전연구와 하수를 적용한 현장연구로 구분하여 수행하였으며, 다음과 같은 결론에 도달하였다.

- 1) 여재 자체가 갖는 손실수두는 약 1.1cm 정도로 분석되었고, 선속도 10m/hr 증가에 따라 약 0.1cm 정도의 손실수두 증가를 유발하는 것으로 나타났다.
- 2) 인공시료 적용 시 SS 제거효율은 81.4% 정도로 안정적이었고, 여과지속시간은 6시간 이상 유지되었다. 역세척공기 선속도 66.3m/hr에서 15분간 공기 역세를 수행할 경우 손실수두 평균 회복율은 약

98%로 분석되었다.

- 3) 본 연구를 수행한 S하수처리장으로 유입된 하수를 적용한 현장평가에서 유입수의 직접여과는 여재의 조기폐색을 유발하므로 전처리공정으로 벨트형 미세스크린(450mesh 이상)을 적용함으로써 2시간 내외의 여과지속시간을 확보할 수 있었다.
- 4) 오염물 제거효율 측면에서 전처리 조건에 따라 효율차이는 크지 않았고 이는 강제여과 방식의 여재 적용에서 기인된 것으로 사료된다.
- 5) CSOs 및 SSOs에 여과공정 적용을 위해서는 효율적 측면보다 여과지속시간을 안정적으로 유지하는 것이 중요한 요소이며, 전처리공정에 의해 여과공정의 수리적 특성이 크게 달라지는 것을 확인하였다.
- 6) 우기의 유입하수 수질은 건기와 비교하여 대부분의 수질항목에서 낮은 농도로 분석되었고, 이는 분류식 관거 비율이 높은 배수구역의 특성에서 기인된 것으로 추정된다. 우기와 건기의 유입수질에 따른 제거효율 차이는 미미하였다.

References

- [1] Vladimir Novotny, Harvey Olem, Water Quality-Prevention, Identification, and Management of Diffuse Pollution, New York : Van Nostrand Reinhold, pp. 439-443, 1994.
- [2] Kim Sung Won, Kim Kyung Moon, Jeon Je Chan, Kwon Koo Ho, Min Kyung Sok, "An analysis study on pollutant loads of combined sewer overflows in urban areas", *Proc. of Korean Society of Civil Engineers 2012 Convention*, pp. 2782-2786, October, 2012.
- [3] National Institute of Environmental Research, An Effect Analysis of Rainfall Runoff on Embayment Water Quality in the Daecheong Lake(II), p. 6, 2010.
- [4] Song Mi Young, A Study on the Occurrence Characteristic of Combined Sewer Overflows(CSOs) in Urban Area, Thesis of engineering master's degree, University of Seoul, June, 2014.
- [5] Ki-Woong Bang, Jun-Ho Lee, Runoff Characterization of the Combined Sewer Overflows at Yudeung Stream in Daejeon, *Journal of Korean Society of Urban Environment*, vol. 4, no. 2, pp. 1-14, 2004.
- [6] Chang-Soo Song, Seung-Hoon Ahn, Characteristics of Flowrate and Water Quality in Combined and Separate Sewer System, *Journal of Green Industrial Research*, Honam Univ., vol. 17, no. 1, pp. 39-48, June, 2011.
- [7] Ministry of Environment, 2015 Sewage Statistics, Available From: <http://www.me.go.kr> (accessed 2017. 10.07)
- [8] Ki Soo Park , Jing Cheng, Young Chul Kim, Treatment

Study of the Turbid Water by High-Speed Synthetic Fiber Filter System, *Journal of Korean Society on Water Environment*, vol. 31, no. 3, pp. 262-271, May, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.15681/KSWE.2015.31.3.262>

김 재 학(Jae-Hak Kim)

[정회원]



- 1990년 2월 : 서울시립대학교 환경공학과(학사)
- 2010년 8월 : 서울시립대학교 산업대학원 환경원예학과(석사)
- 2003년 4월 ~ 현재 : (주)일신대이치 대표이사
- 2015년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 일반대학원 환경공학과(박사과정)

<관심분야>

하·폐수처리, 수질관리, 물순환

양 정 하(Jeong-Ha Yang)

[정회원]



- 2000년 2월 : 아주대학교 일반대학원 환경공학과(공학석사)
- 2016년 11월 : (주)미건환경산업 대표이사
- 2016년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 일반대학원 환경공학과(박사과정)

<관심분야>

폐수처리, 환경기계

이 영 신(Young-Shin Lee)

[정회원]



- 1986년 8월 : 서울대학교 보건대학원 환경과(보건학석사)
- 1994년 8월 : 서울시립대학교 환경공학과(공학박사)
- 1993년 3월 ~ 현재 : 한서대학교 환경공학과 정교수

<관심분야>

상·하수도처리, 폐수처리, 수질관리, 물순환